

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2016.02.008

变化环境下渭河流域径流丰枯遭遇变化特征 及其影响因素分析

郭爱军, 黄 强, 畅建霞, 王义民

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048)

摘要: 以渭河流域为研究对象, 采用有序聚类与滑动 t 检验法诊断渭河干流(咸阳站)、泾河(张家山站)与北洛河(状头站)1960—2010年径流变异情况, 引入 Copula 函数分析不同水文区径流丰枯遭遇特征。结果表明: 咸阳站径流于 1969 年、1993 年变异, 张家山站于 1996 年变异, 状头站于 1994 年变异; 变异点前后, 各水文区相同设计频率下径流量显著减小, 干流减小趋势最为显著; 不同水文区径流丰枯遭遇概率变化显著, 1960—1993 年径流丰枯同步遭遇概率远大于丰枯异步, 1994—2010 年, 除张家山-状头径流遭遇组合外, 径流丰枯同步遭遇概率远小于丰枯异步, 不同组合遭遇概率趋向均匀化; 流域内不利于调水概率显著减小, 持续且剧烈的人类活动对径流的改变是造成该现象的主因。

关键词: 渭河流域; 径流变异; Copula 函数; 丰枯遭遇

中图分类号: P333.6

文献标志码: A

文章编号: 1006-4710(2016)02-0173-07

Synchronous asynchronous encounter probability of rich-poor runoff change and its influencing factors under the condition of changing environment in the Weihe River Basin

GUO Aijun, HUANG Qiang, CHANG Jianxia, WANG Yimin

(State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Taking Weihe River Basin as the study area, ordered clustering and sliding t methods are used to detect the change point of runoff at the Xianyang station located in the mainstream of Weihe River, Zhangjiashan station located in the Jinghe River and Zhuangtou station located in the Beiluohe River. And Copula function is applied to analyze the synchronous-asynchronous encounter probability of rich-poor runoff. Results show: the change point of runoff occurred in 1969 and 1993 at the Xianyang station, 1996 at the Zhangjiashan station and 1994 at the Zhuangtou station. In comparison of runoff at different design frequencies from 1960 to 1993, runoff decreased remarkably at the corresponding design frequencies from 1994 to 2010, which was most significant in the mainstream of Weihe River. The synchronous asynchronous encounter probabilities changed remarkably in all hydrological zones. From 1960 to 1993, the synchronous encounter probabilities were greater than asynchronous encounter probabilities, which was inverse from 1994 to 2010 except the Zhangjiashan-Zhuangtou runoff encounter combinations. Additionally, the range of synchronous asynchronous encounter probabilities of different rich-poor runoff combinations decreased from 1994 to 2010, and the frequency against water diversion also decreased greatly. Sustained and intensive human activities changing runoff were the main reason for causing the changes of synchronous asynchronous encounter probability of rich-poor runoff.

Key words: Weihe River Basin; runoff variation; copula function; synchronous asynchronous encounter analysis

不同水文区水资源的联合调度与配置是对流域水资源进行再分配, 解决流域水资源时空分布与社

会经济发展不匹配的重要方法, 而流域各水文区水资源的不同丰枯遭遇状态, 直接影响到调水量以及

收稿日期: 2015-06-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51190093, 51179148, 51179149); 水利部公益性行业科研专项基金资助项目(201101043); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20116118110009)

作者简介: 郭爱军, 男, 博士生, 研究方向为水资源系统工程。E-mail: sfagaj@163.com.cn

通讯作者: 黄强, 男, 教授, 博导, 研究方向为水资源系统工程与流域水文过程。E-mail: sy-sj@xaut.edu.cn

不同丰枯遭遇情景下配置方案的确定,进而影响到不同水文区的用水权益保障和社会经济可持续发展^[1]。故此,充分考虑水资源的不同丰枯遭遇状态,对流域水资源的合理规划、可持续利用等具有重要意义。目前,流域水资源的丰枯遭遇研究方法主要有统计法和联合分布函数法,而 Copula 函数方法因其具有构造灵活多变,可描述变量之间非线性、对称及非对称的相关关系等优良特性^[2],在流域水资源的丰枯遭遇方面被诸多国内外学者采纳应用^[3-8]。但是在当前气候以及人类活动剧烈变化的情景下,流域水资源的时空分布以及产汇流过程发生明显改变,不同水文区变异情况不同,使得流域水资源丰枯遭遇情况随之变化,从而对流域水资源联合调度与配置产生影响。

渭河流域水资源分布与社会经济发展不均衡造成流域内水资源供需分异问题突显,人类活动与气候变化对流域水资源改变明显,变化环境下全流域的水资源配置显得尤为重要^[9],因此对变化环境下流域各水文区径流遭遇情景进行分析,进而确定不同配置方案则成为当下亟需解决的问题。基于此,本文以渭河流域为研究对象,在分析流域水资源变异的基础上,采用 Copula 函数分析了泾河流域、北洛河流域以及渭河干流中上游在水资源变异前后丰枯遭遇变化情况,研究其遭遇状况规律,并探讨了气候变化与人类活动对流域水资源丰枯遭遇状态变化的影响。

1 研究区域概况与数据

1.1 研究区域概况

渭河发源于甘肃渭源县鸟鼠山,流经甘肃、宁夏、陕西3省(区),在陕西潼关注入黄河,干流全长818 km,流域总面积13.5万 km²,如图1所示。流域多年平均天然径流量100亿 m³,占黄河流域天然径流量的17.3%,其中渭河干流咸阳以上54.05亿 m³,支流泾河张家山以上为17.23亿 m³,北洛河源头以上9.96亿 m³^[10]。流域径流空间分布不均匀,渭河南岸来水量占总来水量的48%以上,而集水面积仅占渭河流域面积的20%,南岸径流系数平均0.26,是北岸的3倍左右。径流年际变化大,年内分配不均衡,最大年径流量(218亿 m³)约为最小年径流量(43亿 m³)的5倍,汛期(7月~10月)来水量约占全年的60%。

1.2 数据

本研究收集了咸阳水文站、张家山水文站和状头水文站的年径流资料(黄河流域水文年鉴见图1);渭河流域21个气象站的资料(含降雨量、气温、风速等)

收集自中国气象科学数据共享服务网,为保证资料系列的同步性和具有较长的观测系列,径流和气象资料均采用1960—2010年共51年的资料系列。潜在蒸发量采用世界粮农组织(FAO)推荐的FAO Penman-Monteith公式计算得到。各流域的降雨量与潜在蒸发量根据各站点降雨量与潜在蒸发量,采用基于ArcGIS平台的泰森多边形法计算而来。

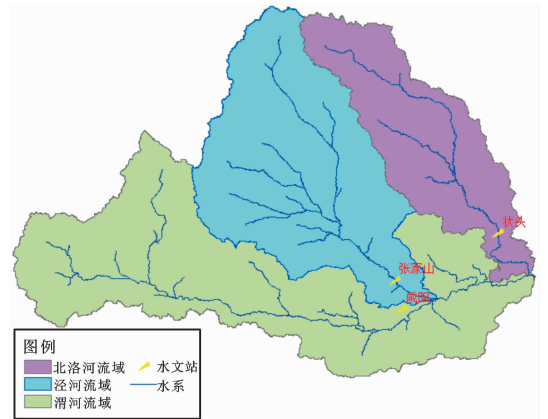


图1 渭河流域水文站点分布图

Fig. 1 Location of hydrologic stations in the Weihe River Basin

2 渭河流域径流变异分析

采用有序聚类法和滑动 t 检验法^[11]诊断渭河流域咸阳水文站、张家山水文站以及状头水文站径流量变异特征,将所得结果进行对比、验证,如图2~4所示。

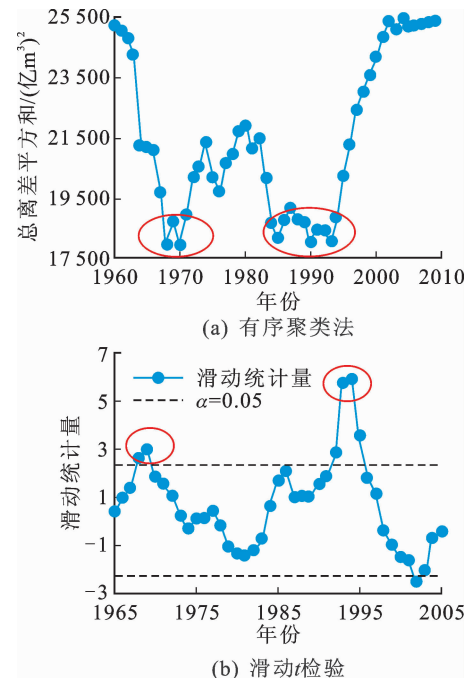


图2 咸阳站径流量变异年份诊断

Fig. 2 Alteration diagnosis of runoff series at Xianyang station

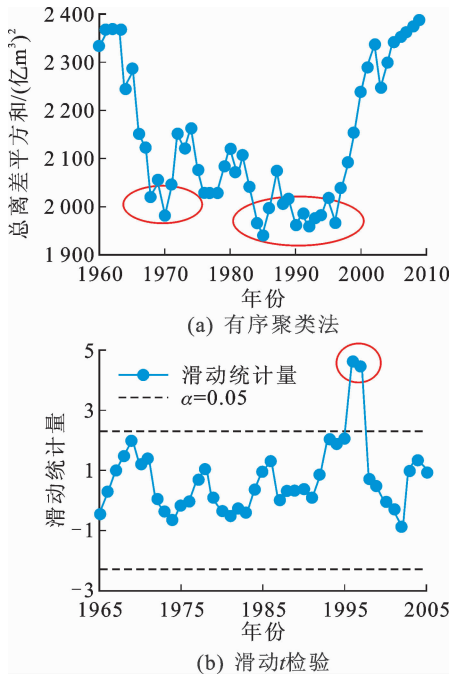


图3 张家山站径流量变异年份诊断
Fig. 3 Alteration diagnosis of runoff series at Zhangjiashan station

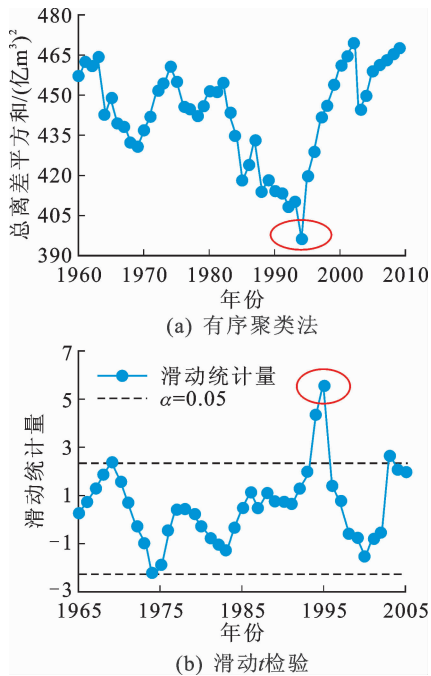


图4 状头站径流量变异年份诊断
Fig. 4 Alteration diagnosis of runoff series at Zhuangtuo station

有序聚类分析结果表明,咸阳水文站年径流量在1968年、1969年、1970年、1985年、1990年、1993年出现可疑变异点。滑动 t 检验(步长为5)显示1969年检验值 $T=2.96 > T_{\alpha/2}$,1993年检验值 $T=5.75 > T_{\alpha/2}$,这说明1969年、1993年为咸阳站径流量发生变异的年份。张家山水文站径流量有序聚类

法诊断表明,径流量在1970年、1985年、1990年、1992年、1996年均出现可疑变异点,滑动 t 检验表明仅有1996年 $T=4.66 > T_{\alpha/2}$,故泾河流域径流序列于1996年发生明显变异。状头水文站两种变异诊断结果均表明北洛河流域径流量发生变异的年份是1994年。

3 Copula函数的选择与丰枯遭遇分析

3.1 Copula函数的选择

渭河流域径流量变异诊断结果表明,渭河干支流径流量均在1993年附近存在一个变异点,为了更好的对比分析径流量变异前后水资源丰枯遭遇状态特征,本文统一将各流域时间序列划分为1960—1993年和1994—2010年两个时段,其中1960—1993年为人类活动相对较弱期,1994—2010年为人类活动影响剧烈期。

采用皮尔逊III型分布来拟定渭河流域年径流序列不同时段边缘分布,利用优化适线法求取频率分布曲线的统计参数。选择Clayton Copula和Gumbel-Hougaard Copula函数拟合不同流域径流序列,通过Kendall秩相关系数估计Copula函数的参数 θ ,采用均方根误差(RMSE)与赤池信息准则(AIC)选择最优Copula函数^[12]。

两两组合咸阳水文站、张家山水文站以及状头水文站三站径流序列,作为流域径流遭遇组合。不同时段Copula函数的参数 θ 与拟合优度检验结果如表1所示。

表1 Copula函数参数估计结果及拟合优度检验
Tab. 1 The parameter of Copulas functions and the evaluation of goodness of fit

径流遭遇组合	参数	Clayton Copula		Gumbel-Hougaard Copula	
		1960—1993年	1994—2010年	1960—1993年	1994—2010年
咸阳-张家山	θ	3.32	0.03	2.66	1.01
	RMSE	0.05	0.14	0.04	0.14
	AIC	-90.80	-28.68	-91.87	-28.71
咸阳-状头	θ	1.84	0.16	1.92	1.08
	RMSE	0.04	0.04	0.03	0.04
	AIC	-98.67	-47.14	-103.88	-46.80
张家山-状头	θ	3.38	1.40	2.69	1.70
	RMSE	0.06	0.09	0.06	0.08
	AIC	-84.12	-36.23	-82.73	-37.36

由表1可知,对于咸阳-张家山径流遭遇组合,

两时段均以 Gumbel-Hougaard Copula 函数拟合效果较优;对于咸阳-状头径流遭遇组合,1960—1993 年采用 Gumbel-Hougaard Copula 函数拟合效果较优,1994—2010 年采用 Clayton Copula 函数拟合效果较优;对于张家山-状头径流遭遇组合,1960—1993 年采用 Clayton Copula 函数拟合效果较优,1994—2010 年采用 Gumbel-Hougaard Copula 函数拟合效果较优。

3.2 不同水文区丰枯遭遇分析

采用频率法划分不同水文区径流量的丰枯组合,丰枯遭遇分为以下九种情形:

①丰丰型, $p_1 = P(X \geq x_{p_f}, Y \geq y_{p_f})$;

②丰平型, $p_2 = P(X \geq x_{p_f}, y_{p_k} < Y < y_{p_f})$;

③丰枯型, $p_3 = P(X \geq x_{p_k}, Y \leq y_{p_k})$;

④平丰型, $p_4 = P(x_{p_k} < X < x_{p_f}, Y \geq y_{p_f})$;

⑤平平型, $p_5 = P(x_{p_k} < X < x_{p_f}, y_{p_k} < Y < y_{p_f})$;

⑥平枯型, $p_6 = P(x_{p_k} < X < x_{p_f}, Y \leq y_{p_k})$;

⑦枯丰型, $p_7 = P(X \leq x_{p_k}, Y \geq y_{p_f})$;

⑧枯平型, $p_8 = P(X \leq x_{p_k}, y_{p_k} < Y < y_{p_f})$;

⑨枯枯型, $p_9 = P(X \leq x_{p_k}, Y \leq y_{p_k})$ 。

其中, $p_f = 37.5\%$ 、 $p_k = 62.5\%$,分别为划分径流量丰、枯的频率标准。不同时段丰、枯频率下径流量如表 2 所示。

表 2 各站不同时段不同设计频率下年径流量

Tab.2 Design values of runoff with different frequencies in different periods and stations

起止年份及变化率	咸阳站径流/(亿 m ³)		张家山站径流/(亿 m ³)		状头站径流/(亿 m ³)	
	$p_f = 37.50\%$	$p_k = 62.50\%$	$p_f = 37.50\%$	$p_k = 62.50\%$	$p_f = 37.50\%$	$p_k = 62.50\%$
1960—1993	50.19	36.75	19.35	15.07	9.41	7.64
1994—2010	20.66	12.97	11.1	8.9	6.07	4.95
变化率	-58.84%	-64.71%	-42.64%	-40.94%	-35.49%	-35.21%

由表 2 可以看出,在人类活动变化剧烈时期,即 1994—2010 年,各流域丰水年、枯水年的径流量均较 1960—1993 年呈显著减小趋势。其中,渭河干流咸阳站减小趋势最为显著,当设计频率为 37.50%、62.50%时,变幅分别为 58.84%、64.71%;支流泾河

次之,设计频率为 37.50%、62.50%时,变幅分别为 42.64%、40.94%;北洛河流域最小,设计频率为 37.50%、62.50%时,变幅分别为 35.49%、35.21%。

图 5~7 为不同时段流域不同水文区径流丰枯遭遇的联合分布等值线图。

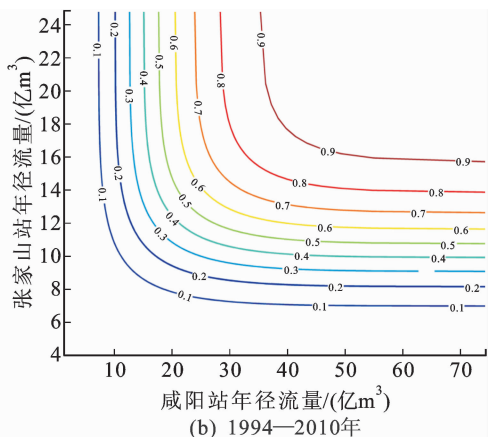
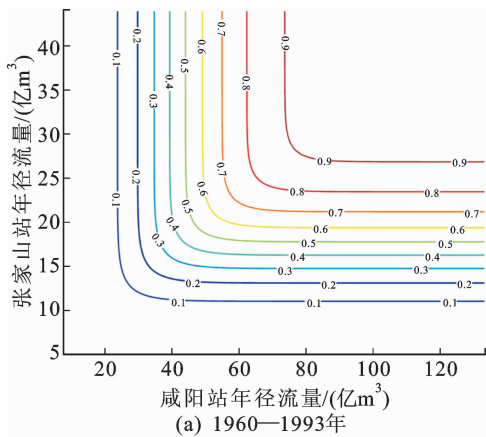


图 5 咸阳-张家山径流不同时段丰枯遭遇的联合分布等值线图

Fig.5 Joint distribution of runoff between Xiayang and Zhangjiashan in different periods

计算上述 9 种径流组合下丰枯遭遇概率,如表 3 所示。结合表 3 与图 5~7 可看出,径流变异前后,各水文区径流丰枯遭遇概率发生明显变化:① 1960—1993 年,不同水文区径流丰枯同步遭遇概率远高于丰枯异步遭遇概率,咸阳-张家山、张家山-状

头与咸阳-状头径流丰枯同步遭遇的概率分别为 68.34%、69.42%与 59.20%;② 1994—2010 年不同水文区径流丰枯异步遭遇概率高于丰枯同步遭遇概率,不同组合径流遭遇概率趋向均匀化,如咸-张径流遭遇中,1960—1993 年丰枯遭遇概率变化范围为

1.83%~29.34%,1994—2010年为6.27%~14.31%;③径流丰丰遭遇组合或枯枯遭遇组合会导致流域受水区无需调水或调水区无水可调的情况出现,故此认为径流丰丰遭遇组合与枯枯遭遇

组合是不利于流域调水的情况。各水文区1960—1993年不利于调水的概率为24.48%~30.71%,1994—2010年不利于调水的概率为14.25%~24.33%,较之前显著减小。

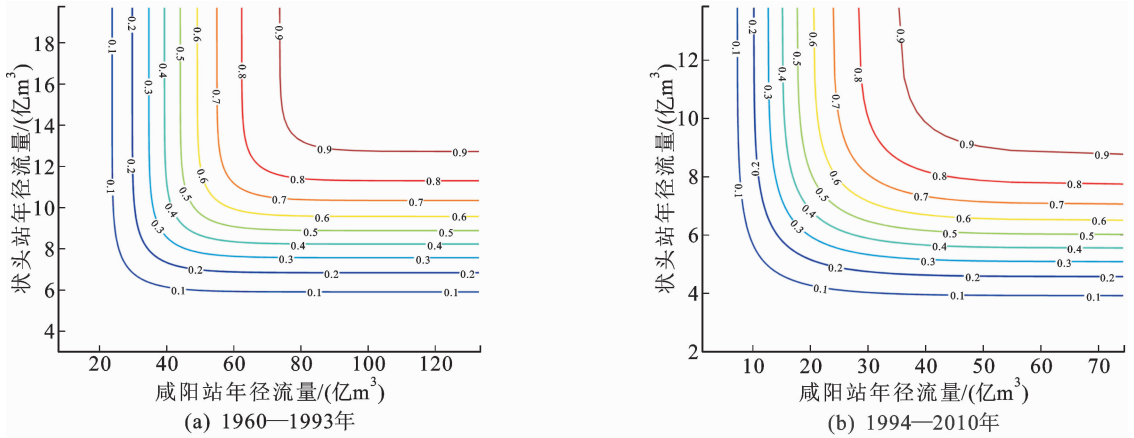


图6 咸阳-状头径流不同时段丰枯遭遇的联合分布等值线图

Fig. 6 Joint distribution of runoff between Xianyang and Zhuangtou in different periods

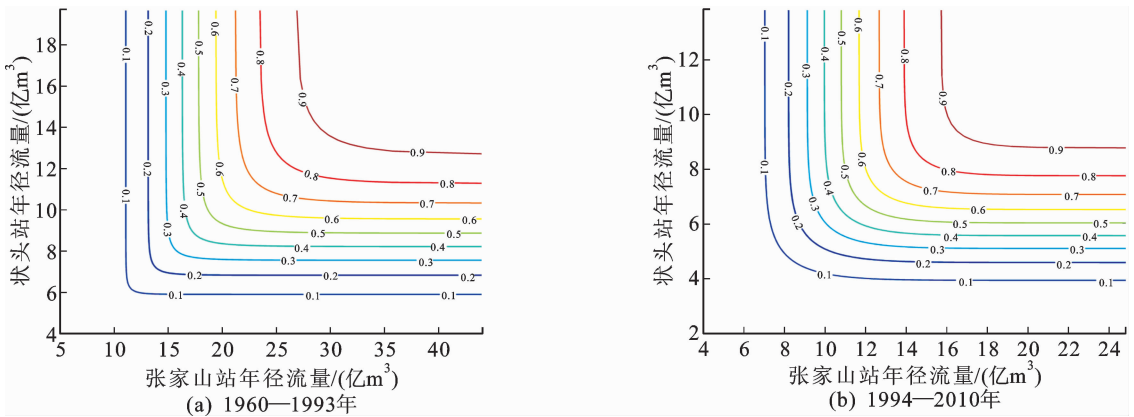


图7 张家山-状头径流不同时段丰枯遭遇的联合分布等值线图

Fig. 7 Joint distribution of runoff between Zhangjiashan and Zhuangtou in different periods

表3 各河流径流丰枯遭遇概率分析结果

Tab. 3 Encounter probability of rich-poor runoff in different periods and rivers

径流组合	起止年份	丰枯同步概率/%				丰枯异步概率/%						
		同丰	同平	同枯	合计	丰平	丰枯	平丰	平枯	枯丰	枯平	合计
咸阳-张家山	1960—1993	29.34	11.00	28.00	68.34	6.33	1.83	6.33	7.67	1.83	7.67	31.66
	1994—2010	14.31	6.27	14.25	34.83	9.34	13.85	9.34	9.40	13.85	9.40	65.18
咸阳-状头	1960—1993	25.95	8.77	24.48	59.20	7.38	4.17	7.38	8.85	4.17	8.85	40.80
	1994—2010	15.37	6.36	16.07	37.80	9.67	12.46	9.67	8.97	12.46	8.97	62.20
张家山-状头	1960—1993	27.56	11.15	30.71	69.42	8.50	1.44	8.50	5.35	1.44	5.35	30.58
	1994—2010	24.33	8.09	22.89	55.31	7.73	5.44	7.73	9.18	5.44	9.18	44.69

注:丰枯异步中,以咸阳-张家山遭遇为例,丰-平遭遇表示咸阳丰-张家山平,平-丰遭遇表示咸阳平-张家山丰,以此类推。

4 变化环境下渭河流域径流丰枯遭遇影响因素探讨

环境变化改变了流域水文过程,而人类活动与

气候变化则是环境变化的主要影响因素,同时气候变化与人类活动之间的耦合关系密切,本研究从两者的直接影响出发,暂不考虑其间的相关性。

渭河流域径流主要来自降雨,降雨量的多寡决

定着径流补给来源的丰缺,蒸发量的大小反映着径流损耗的多少^[13]。各水文区不同时段气象因子及径流变化情况如表 4 所示。降雨方面,各水文区 1994—2010 年的降雨幅度均较 1960—1993 年有所减少,其中咸阳以上流域降雨量减小幅度最大,为 11.14%;泾河流域次之,为 7.27%,北洛河流域最小,为 6.29%;降雨量偏枯致使径流量衰减,各水文区降雨量减小幅度远小于径流量减小幅度。蒸发方面,各水文区潜在蒸发量均呈增加趋势,但增加幅度较小,最大仅为 5.51%(泾河流域)。

渭河流域影响径流变化的人类活动主要为水利水保工程的修建以及工农业的持续性取用水。自 20 世纪 70 年代,渭河流域开始大量修建水利水保工程,截至 1996 年底,流域内累计兴修梯田 52.85

万 hm^2 ,完成造林 75.66 万 hm^2 、种草 20.54 万 hm^2 ,修建淤地坝 2336 座,各类水库总库容达 16.8 亿 m^3 ^[14-15]。以北洛河流域为例,刘斌^[16]等研究表明,1990—1996 年流域水利水保措施实施以及取用水是径流量减少的主因,其中,水保措施减水量 4182.4 万 m^3 ,水利措施减水量 30563 万 m^3 。水利设施调节能力的不断增强、取用水规模的持续加大是导致流域不同时段设计径流量减小、不同水文区径流丰枯遭遇概率变化的主因。

上述分析表明,气候变化对流域径流的影响远小于人类活动。水利水保工程的修建以及工农业的直接取用水很大程度上改变了径流年内、年际变化分布,从而使流域不同水文区径流丰枯遭遇概率发生变化。

表 4 渭河流域不同时段径流与气象因子变化
Tab. 4 Changing of runoff and meteorological factors in Weihe River Basin

区域	起止年份	径流深/mm	径流变化率/%	降雨量/mm	降雨变化率/%	潜在蒸发量/mm	蒸发变化率/%
咸阳以上	1960—1993	99.90	-57.72	578.08	-11.14%	789.95	2.87
	1994—2010	42.24		513.69		812.64	
泾河流域	1960—1993	42.69	-39.75	526.84	-7.27%	747.99	5.51
	1994—2010	25.72		488.52		789.24	
北洛河流域	1960—1993	11.47	-32.08	574.52	-6.29%	865.22	4.77
	1994—2010	7.79		538.39		906.49	

5 结 论

1) 受大规模的水利水保等人类活动的影响,渭河干流中上游(咸阳站)径流于 1969 年、1993 年发生变异,泾河流域径流于 1996 年变异,北洛河流域径流于 1994 年变异。

2) 不同时段,相同设计频率下径流量显著减小,其中渭河干流减小趋势最为显著,泾河次之,北洛河减小趋势最小;

3) 咸阳-张家山径流遭遇组合,1960—1993 年与 1994—2010 年均以 Gumbel-Hougaard Copula 函数拟合效果较优;咸阳-状头径流遭遇组合,1960—1993 年采用 Gumbel-Hougaard Copula 函数拟合效果较优,1994—2010 年为 Clayton Copula 函数;张家山-状头径流遭遇组合,1960—1993 年采用 Clayton Copula 函数拟合效果较优,1994—2010 年为 Gumbel-Hougaard Copula 函数。

4) 1960—1993 年,不同水文区径流丰枯同步遭遇概率远大于丰枯异步;1994—2010 年,除张家山-状头径流遭遇组合外,径流丰枯同步遭遇概率远

小于丰枯异步;不同水文区径流丰枯同步遭遇概率减小,丰枯异步遭遇概率增加,不同组合遭遇概率趋向均匀化;流域内不利于调水的组合(丰丰遭遇与枯枯遭遇)概率减小显著;人类活动(水利工程、水保措施以及工农业的直接取用水)改变了径流的年际、年内分布与周期性变化,是造成丰枯遭遇发生显著改变的主要原因。

参考文献:

- [1] 陈睿智,桑燕芳,王中根,等. 丰枯遭遇对引汉济渭受水区水资源配置的影响研究[J]. 资源科学,2013,35(8): 1577-1583.
CHEN Ruizhi, SANG Yanfang, WANG Zhonggen, et al. Influence of rich-poor precipitation on water resource allocation of the Hanjiang to Weihe River Water Transfer Project [J]. Resources Science, 2013, 35(8): 1577-1583.
- [2] NELSEN R B. An introduction to Copulas [M]. New York: Springer, 2006.
- [3] DE M, SALVADORI C, CANOSSO M, et al. Bivariate statistical approach to check adequacy of dam spillway [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2005, 10

- (1):50-57.
- [4] ZHANG L, SINGH V P. Bivariate rainfall frequency distributions using Archimedean copulas [J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 332 (1-2): 93-109.
- [5] 闫宝伟,郭生练,肖义. 南水北调中线水源区与受水区降水丰枯遭遇研究[J]. *水利学报*, 2007, 38 (10): 1178-1185.
YAN Baowei, GUO Shenglian, XIAO Yi. Synchronous-asynchronous encounter probability of rich-poor precipitation between water source area and water receiving areas in the Middle Route of South to North Water Transfer Project [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(10): 1178-1185.
- [6] SUBIMAL G. Modelling bivariate rainfall distribution and generating bivariate correlated rainfall data in neighboring meteorological subdivisions using copula [J]. *Hydrological Process*, 2010, 24(24): 3558-3567.
- [7] 傅玉勇,闫澍旺,丁志宏. 基于 GH Copula 的渭河与汾河径流丰枯遭遇频率研究[J]. *水利水电技术*, 2010, 41 (1): 15-17.
FU Yuyong, YAN Shuwang, DING Zhihong. Study on probability of encounter between abundant and low runoffs from Weihe River and Fenhe River based on Gumbel-Hougaard Copula [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2010, 41(1): 15-17.
- [8] 刘招,田智,乔长录,等. 基于 Copula 函数的关中河流域水文丰枯遭遇特征分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(4): 245-248.
LIU Zhao, TIAN Zhi, QIAO Changlu, et al. Analysis on coincidence characteristics of high and low streamflow in central Shaanxi based on Copula function [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2013, 31(4): 245-248.
- [9] 刘燕,胡安焱. 渭河流域水资源供需平衡空间分异特征研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(3): 81-85.
LIU Yan, HU Anyan. Study on spatial differentiation characteristics of water resources supply and balance in Weihe Basin [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(3): 81-85.
- [10] 朱悦璐,畅建霞. 基于气候模式与水文模型结合的渭河径流预测[J]. *西安理工大学学报*, 2015, 31(4): 400-408.
ZHU Yuelu, CHANG Jianxia. Prediction of Weihe River runoff based on combination of climate model with hydrological model [J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2015, 31(4): 400-408.
- [11] 雷红富,谢平,陈广才,等. 水文序列变异点检验方法的性能比较分析[J]. *水电能源科学*, 2007, 25(4): 36-40.
LEI Hongfu, XIE Ping, CHEN Guangcai, et al. Comparison and analysis on the performance of hydrological time series change-point testing methods [J]. *Water Resources and Power*, 2007, 25(4): 36-40.
- [12] 莫淑红,沈冰,张晓伟,等. 基于 Copula 函数的河川径流丰枯遭遇分析[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(6): 131-136.
MO Shuhong, SHEN Bing, ZHANG Xiaowei, et al. Synchronous-Asynchronous encounter probability of rich-poor runoff based on copula function [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2009, 37(6): 131-136.
- [13] 万红莲,张英. 渭河陕西段水情对气候变化的响应[J]. *江西农业学报*, 2012, 24 (1): 169-172.
WAN HongLian, ZHANG Ying. Response of water situation of Weihe River reach in Shaanxi to climate change [J]. *Acta Agricultural Jiangxi*, 2012, 24 (1): 169-172.
- [14] 王宏,秦百顺,马勇,等. 渭河流域水土保持措施减水减沙作用分析[J]. *人民黄河*, 2001, 23(2): 18-20.
WANG Hong, QIN BaiShun, MA Yong, et al. Analysis of water and sediment reduction effects by soil and water conservation treatments in Wei River Basin [J]. *Journal of Yellow River*, 2001, 23(2): 18-20.
- [15] 苗磊. 陕西省泾河流域水资源开发利用现状及建议[J]. *陕西水利*, 2011, (2): 103-105.
MIAO Lei. Present situation and advice of water resources development of the Jinghe River Basin [J]. *Shaanxi Water Resources*, 2011, (2): 103-105.
- [16] 刘斌,冉大川,罗全华,等. 北洛河流域水土保持措施减水减沙作用分析[J]. *人民黄河*, 2001, 23 (2): 12-14.
LIU Bin, RAN Dachuan, LUO Quanhua, et al. Analysis of water and sediment reduction under soil and water conservation measures in the Beiluohe River [J]. *Yellow River*, 2001, 23(2): 12-14.

(责任编辑 周 蓓)